

УДК 669.041

В. Б. КОВАЛЕВСКИЙ, д-р техн. наук,
Н. Г. МАЛЬКЕВИЧ, канд. техн. наук,
М. Г. ПШОНИК, канд. техн. наук,
Г. РОМАДАН, В. В. СУХАН (БНТУ)

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА НАГРЕВА МЕТАЛЛА ПРИ ТЕПЛООБМЕНЕ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Сложность процессов теплопередачи и недостаточность априорной информации о процессах нагрева металла в печах приводят к необходимости создания математических моделей, в которых неизвестными являются некоторые параметры, существенно зависящие от конструктивных особенностей печи. Если имеются экспериментальные данные о динамике нагрева материалов, то их можно использовать для идентификации модели, что позволяет построить адекватный реальному процессу режим. Таким образом, возникает задача параметрической идентификации модели по результатам промышленных экспериментов.

Из уравнения теплового баланса модель процесса нагрева термически тонких тел представим в виде

$$\frac{dT}{dt} = \sigma (T_{\text{пч}}^4 - T^4); \quad (1)$$

$$T(0) = T_0, \quad (2)$$

где σ – коэффициент теплообмена радиацией; $T_{\text{пч}}$, T – температура среды и металла в момент времени t соответственно; T_0 – начальная температура заготовки.

Предположим, что нам известны в любой момент времени температуры печи и металла. Например, по литературным данным [1] они сведены в табл. 1 и 2 соответственно. Задача параметрической идентификации заключается в подборе такого параметра σ , при котором значения температур металла, найденные из решения уравнения (1) с начальным условием (2), в каждый момент времени наименее отличаются от тех же величин, но полученных экспериментальным путем. За меру отклонения данных примем величину

$$G(\sigma) = \int_0^{t_k} \left(T(t) - \hat{T}(t) \right)^2 dt, \quad (3)$$

где t_k – время, за которое проводились измерения экспериментальных

значений; $\hat{T}(t)$ – экспериментальные значения температуры металла.

Из соотношения (3) следует, что мера отклонения температур зависит от параметра σ .

Примем из физических соображений, что

$$\sigma \geq 0. \quad (4)$$

Следовательно, для того чтобы решить задачу параметрической идентификации, необходимо найти такое значение параметра $\sigma = \bar{\sigma}$, которое удовлетворяет ограничению (4), и функция (3) принимает при данном σ минимальное значение.

Таблица 1

Температура печи в зависимости от времени

Время, мин	Температура t , °C	Время, мин	Температура t , °C	Время, мин	Температура t , °C
0	650	34	926	68	1118
2	679	36	941	70	1125
4	707	38	952	72	1132
6	727	40	962	74	1139
8	747	42	970	76	1146
10	760	44	978	78	1153
12	773	46	987	80	1160
14	787	48	1003	82	1165
16	800	50	1019	84	1167
18	813	52	1035	86	1172
20	827	54	1051	88	1177
22	840	56	1067	90	1182
24	853	58	1085	92	1186
26	867	60	1100	94	1190
28	882	62	1103	96	1194
30	897	64	1107	98	1197
32	911	66	1112	100	1200

Таким образом, получена задача условной минимизации функции одной переменной. Для ее решения используем метод половинного деления, задав при этом интервал изменения величины σ

$$\sigma \leq \sigma_{\max}, \quad (5)$$

где σ_{\max} – достаточно большое положительное число.

Температура заготовки в зависимости от времени

Время, мин	Температура $t, ^\circ\text{C}$	Время, мин	Температура $t, ^\circ\text{C}$	Время, мин	Температура $t, ^\circ\text{C}$
0	50	34	750	68	1050
2	110	36	770	70	1065
4	200	38	790	72	1075
6	265	40	810	74	1090
8	310	42	825	76	1100
10	330	44	835	78	1115
12	350	46	860	80	1125
14	380	48	875	82	1130
16	415	50	900	84	1135
18	450	52	925	86	1140
20	490	54	950	88	1145
22	520	56	975	90	1150
24	550	58	990	92	1155
26	610	60	1000	94	1160
28	650	62	1010	96	1170
30	680	64	1020	98	1180
32	725	66	1030	100	1185

В результате численного эксперимента имеем $\sigma = 3,725 \cdot 10^{-9}$. На рис. 1 приведены графики изменения температуры заготовки, полученные экспериментальным и расчетным путем.

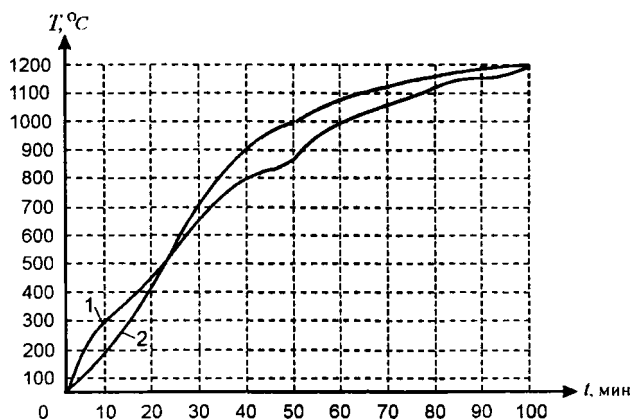


Рис. 1. Графики изменения температуры заготовки, полученные:

1 – экспериментальным путем; 2 – расчетным путем

Анализ результатов показывает, что относительная погрешность расчетов температур не превышает 5, что можно считать удовлетворительным.

Таким образом, с помощью промышленного эксперимента и предложенного алгоритма получено реальное значение параметра модели (1), что имеет практическое значение для изучения процесса нагрева металла с целью его последующей оптимизации.

Методику расчета планируется использовать на БМЗ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимошпольский В. И., Трусова И. А., Ковалевский В. Б. Теплотехнология металлургических мини-заводов. – Мн.: Навука і тэхніка, 1992. – 158 с.